

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-296183  
(P2002-296183A)

(43) 公開日 平成14年10月9日 (2002.10.9)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テコード <sup>*</sup> (参考)
G 0 1 N 21/63		G 0 1 N 21/63	Z 2 D 0 5 5
E 2 1 D 11/10		E 2 1 D 11/10	Z 2 G 0 4 3
G 0 1 N 17/00		G 0 1 N 17/00	2 G 0 5 0
21/71		21/71	2 G 0 5 5
33/20		33/20	N

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-102486(P2001-102486)

(22) 出願日 平成13年3月30日 (2001.3.30)

(71) 出願人 000001373

鹿島建設株式会社

東京都港区元赤坂一丁目2番7号

(72) 発明者 三浦 悟

東京都港区元赤坂一丁目2番7号 鹿島建設株式会社内

(72) 発明者 藤本 健一郎

東京都港区元赤坂一丁目2番7号 鹿島建設株式会社内

(74) 代理人 160110711

弁理士 市東 篤 (外1名)

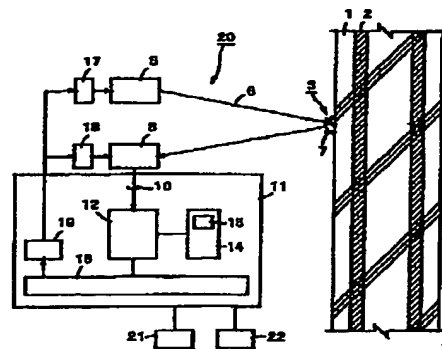
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コンクリート検査方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】大規模なコンクリート構造物をも簡単に短時間で検査できるコンクリート検査方法及び装置を提供する。

【解決手段】被検査コンクリート1にレーザー光6を照射してアブレーションによるプラズマ7を発生させ、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10によりコンクリート1を検査する。例えば、スペクトル強度分布10中の炭素(C)成分の強度に基づきコンクリート1の中性化を検査し、スペクトル強度分布10中のナトリウム(Na)成分及び/又は塩素(Cl)成分の強度に基づきコンクリート1の塩害の影響度合いを検査することができる。鉄筋コンクリートの場合は、スペクトル強度分布10中の鉄(Fe)成分の強度に基づき鉄筋2の腐食を検査できる。好ましくは、スペクトル強度分布10中の複数の特定成分の強度の相互比較、例えばスペクトル強度分布10中のケイ素(Si)成分の強度と炭素(C)成分の強度との相互比較に基づきコンクリート1を検査する。



- 1-被検査コンクリート
- 2-鉄筋
- 3-被検査箇所
- 4-レーザー光源
- 5-(パルス)レーザー光
- 6-プラズマ
- 7-分光装置
- 8-コンクリートのスペクトル強度分布
- 9-コンピュータ
- 10-スペクトル強度分布
- 11-被検査コンクリートのスペクトル強度分布
- 12-データ管理手段
- 13-照射方向と観測位置
- 14-照射方向と観測位置
- 15-炭素濃度検出
- 16-コンクリート検査装置
- 17-ディスプレイ
- 18-プリンター

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】被検査コンクリートにレーザ光を照射してアブレーションによるプラズマを発生させ、該プラズマの発光のスペクトル強度分布により前記コンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項2】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中の炭素成分及び／又はイオウ成分の強度に基づき前記コンクリートの中性化を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項3】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分及び／又は塩素成分の強度に基づき前記コンクリートの塩害の影響度を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項4】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分、カリウム成分その他の強アルカリ成分の強度に基づき前記コンクリートのアルカリ骨材反応の影響度を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項5】請求項1の検査方法において、前記スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び／又は鉄成分の強度に基づき前記コンクリートの酸による劣化を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項6】請求項1の検査方法において、前記コンクリートを鉄筋コンクリートとし、前記スペクトル強度分布中の鉄成分の強度に基づき前記鉄筋の腐食を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項7】請求項1から6の何れかの検査方法において、前記スペクトル強度分布中の複数の特定成分の強度の相互比較に基づき前記コンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項8】請求項7の検査方法において、前記コンクリート中に放射性同位体と非放射性同位体とを含む元素がある場合に、前記スペクトル強度分布中の放射性同位体成分の強度と非放射性同位体成分の強度との相互比較に基づき前記コンクリートの放射化を検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項9】請求項1から8の何れかの検査方法において、参照コンクリートへのレーザ光照射によるプラズマ発光のスペクトル強度分布を求め、被検査コンクリート及び参照コンクリートのスペクトル強度分布の比較に基づき被検査コンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項10】請求項9の検査方法において、前記参照コンクリートを健全コンクリート、中性化コンクリート、塩害コンクリート、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート、酸による劣化コンクリート、腐食鉄筋コンクリート又は放射化コンクリートとしてなるコンクリート検査方法。

【請求項11】請求項1から10の何れかの検査方法において、前記コンクリートの表面の異なる部位にレーザ

光を照射してプラズマを発生させ、前記各部位におけるプラズマの発光に基づきコンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項12】請求項1から11の何れかの検査方法において、前記コンクリートの表面から深さが異なる複数部位にレーザ光を照射してプラズマを発生させ、前記各部位におけるプラズマの発光に基づきコンクリートを検査してなるコンクリート検査方法。

【請求項13】請求項12の検査方法において、前記コンクリートをレーザ光の同一部位への連続的照射により穿孔しながら前記深さが異なる複数部位でのプラズマの発光を測定してなるコンクリート検査方法。

【請求項14】請求項1から13の何れかの検査方法において、前記レーザ光を炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザ光としてなるコンクリート検査方法。

【請求項15】被検査コンクリートにアブレーションによるプラズマを発生させ得る強度のレーザ光を出力するレーザ装置、前記プラズマの発光のスペクトル強度分布を測定する分光光度計、及び前記スペクトル強度分布により前記コンクリートを検査するスペクトル分析装置を備えてなるコンクリート検査装置。

【請求項16】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中の炭素成分及び／又はイオウ成分の強度に基づきコンクリートの中性化を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項17】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分及び／又は塩素成分の強度に基づきコンクリートの塩害の影響度を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項18】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分、カリウム成分その他の強アルカリ成分の強度に基づき前記コンクリートのアルカリ骨材反応の影響度を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項19】請求項15の検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び／又は鉄成分の強度に基づき前記コンクリートの酸による劣化を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項20】請求項15の検査装置において、前記被検査コンクリートを鉄筋コンクリートとし、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中の鉄成分の強度に基づき前記鉄筋の腐食を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項21】請求項15から20の何れかの検査装置において、前記スペクトル分析装置により前記スペクトル強度分布中の複数の特定成分の強度の相互比較に基づき前記コンクリートを検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項22】請求項21の検査装置において、前記スペクトル分析装置により特定元素に含まれる放射性同位体成分の強度と該特定元素に含まれる非放射性同位体成分の強度との相互比較に基づき前記コンクリートの放射化を検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項23】請求項15から22の何れかの検査装置において、参照コンクリートに対するレーザ光照射により発生するプラズマの発光のスペクトル強度分布を記憶する記憶装置を設け、前記スペクトル分析装置により被検査コンクリート及び参照コンクリートのスペクトル強度分布の比較に基づき被検査コンクリートを検査してなるコンクリート検査装置。

【請求項24】請求項15から23の何れかの検査装置において、前記レーザ装置を、同一部位への連続的照射により前記コンクリートの穿孔が可能なものとしてなるコンクリート検査装置。

【請求項25】請求項15から24の何れかの検査装置において、前記レーザ装置を炭酸ガス( $\text{CO}_2$ )レーザ装置としてなるコンクリート検査装置。

【請求項26】請求項15から24の何れかの検査装置において、前記レーザ装置及び分光光度計の移動手段を設けてなるコンクリート検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はコンクリート検査方法及び装置に関し、とくに被検査コンクリートの中性化、塩害、コンクリート中の鉄筋腐食、放射化(放射線の吸収によりコンクリート中に放射性核種が生じることをいう。)等を検査する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】コンクリート構造物では、長期的に安全性・信頼性を維持するため、鉄筋の腐食状態を把握して適切な補強対策を立てることが求められる。コンクリートを剥離して鉄筋を露出させ目視で調査する方法は、構造上重要な部位への適用が難しく、復元のための多くの費用がかかる問題点がある。このため、従来からコンクリートの健全性の調査により鉄筋の腐食程度を定量的に把握する方法が実施されている。コンクリートの健全性調査の代表的なものは、コンクリートの中性化(炭酸化)進捗調査、塩害調査、鉄筋腐食の有無調査等である。

【0003】中性化とは、コンクリート中の主として水酸化ナトリウムが空気中の炭酸ガス(二酸化炭素)と反応して炭酸カルシウムに変化し、コンクリートがアルカリ性から中性に変わる現象である。健全なコンクリートは強アルカリ性を示し鋼材等に錆を生じさせないが、コンクリートの中性化が進行すると鋼材等が腐食し易くなる。中性化進捗調査は、コンクリートの中性化の進捗により鉄筋の腐食程度を把握するものである。空気中の亜硫酸ガス(二酸化硫黄、 $\text{SO}_2$ )により中性化が進行する

場合もある。また塩害とは、コンクリート中に存在し又は進入する塩素イオンの作用により鋼材が腐食して膨張し、コンクリートにひび割れや剥離等の劣化が起こる現象である。

【0004】従来は、コンクリート構造物からコンクリートコアや表面の切削粉等を採取し、採取したコアや切削粉を化学分析することによりコンクリートの中性化や塩害等を把握している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前記化学分析による方法はコンクリートコアや切削粉等のサンプリングを必要とし、例えば大規模コンクリート構造物を調査する場合はサンプリングのために大掛かりな足場や治具等を用意しなければならないので、手間と時間がかかる問題点がある。また、サンプリング現場で直ちに化学分析することは困難であり、調査結果を得るまでに非常に時間がかかる問題点がある。

【0006】そこで本発明の目的は、大規模なコンクリート構造物をも簡単に短時間で検査できるコンクリート検査方法及び装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】図1を参照するに、本発明のコンクリート検査方法は、被検査コンクリート1にレーザ光6を照射してアブレーションによるプラズマ7を発生させ、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10(図2、3参照)によりコンクリート1を検査してなるものである。例えば、スペクトル強度分布10中の炭素(C)成分の強度に基づきコンクリート1の中性化を検査し、スペクトル強度分布10中のナトリウム(Na)成分及び/又は塩素(Cl)成分の強度に基づきコンクリート1の塩害の影響度(塩害の起こり易さ)を検査することができる。コンクリート1が鉄筋コンクリートである場合は、スペクトル強度分布10中の鉄(Fe)成分の強度に基づき鉄筋2の腐食を検査することができる。

【0008】好ましくは、スペクトル強度分布10中の複数の特定成分の強度の相互比較に基づきコンクリート1を検査する。例えば、スペクトル強度分布10中のケイ素(Si)成分の強度と炭素(C)成分の強度との相互比較によりコンクリート1の中性化を検査する。更に好ましくは、参照コンクリートへのレーザ光6の照射によるプラズマ7の発光のスペクトル強度分布15を求め、被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10と参照コンクリートのスペクトル強度分布15との比較に基づき被検査コンクリート1を検査する。参照コンクリートは、例えば健全コンクリート、中性化コンクリート、塩害コンクリート、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート、酸による劣化コンクリート、腐食鉄筋コンクリート又は放射化コンクリート等とすることができる。

【0009】また図1のブロック図を参照するに、本発明のコンクリート検査装置20は、被検査コンクリート1

にアブレーションによるプラズマ7を発生させ得る強度のレーザ光6を出力するレーザ装置5、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10(図2参照)を測定する分光光度計8、及びスペクトル強度分布10によりコンクリート1を検査するスペクトル分析装置12を備えてなるものである。好ましくは、参照コンクリートに対するレーザ光6の照射により発生するプラズマ7の発光のスペクトル強度分布15を記憶する記憶装置14を設け、スペクトル分析装置12により被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10と参照コンクリートのスペクトル強度分布15との比較に基づき被検査コンクリート1を検査する。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】従来から、パワーの大きなパルスレーザ光を被検査体に照射すると表面近傍の物質が急激な加熱により溶融・気化するアブレーション(ablation)が起り、プラズマが被検査体の表面から飛び出すことが知られている(山中一司「レーザー超音波法の原理と応用」非破壊検査、第49巻5号、p292-299)。本発明者は、コンクリートにパルスレーザ光を照射する実験を行ったところ、前記アブレーションにより発生するプラズマの発光色がコンクリートの性状によって変化する

ことを見出した。プラズマの発光色はコンクリート表面から溶融・気化した励起状態の元素から発生すると考えられ、プラズマの発光からコンクリート表面の元素組成等を検査することができる。本発明は、この知見に基づく研究開発の結果、完成に至ったものである。

【0011】図1のブロック図は、本発明によるコンクリート検査装置20の一実施例を示す。検査装置20は、コンクリート1の被検査部位3にレーザ光6を照射するレーザ装置5と、レーザ光6の照射により発生したプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を測定する分光光度計8と、スペクトル強度分布10に基づきコンクリート1の健全性等を検査するスペクトル分析装置12とを有する。

【0012】コンクリート1に照射するレーザ光6は、コンクリート1へ照射したときにアブレーションによってプラズマ7を発生させるに足る強度(パワー密度)を有するものとする。パワー密度が大きいレーザ光6を得るため、レーザ装置5を例えば炭酸ガス(CO<sub>2</sub>)レーザ装置等の出力が大きいものとするのが好ましい。また

大きなパワー密度が得やすいように、レーザ光6をパルスレーザ光とし、所定パルス数のパルスレーザ光をコンクリート1の被検査部位3に照射してもよい。但し、本発明は炭酸ガスレーザ装置やパルスレーザ光の使用に限定されず、YAG(イットリウム・アルミニウム・ガーネット)レーザ装置等や連続レーザ光を使用することができる。

【0013】必要に応じてレーザ装置5に集光レンズを設け、照射域の面積を絞ることができる。照射域面積を絞ることにより、照射域におけるレーザ光6のパワー密

度を高め、前記プラズマ7の発生に足る強度としてもよい。

【0014】分光光度計8は、レーザ光6の照射により発生したプラズマ7の光を例えば集光レンズ等を介して取り入れ、取り入れた光を例えばプリズム等を用いてスペクトルに分解し、更に撮像素子等を用いてスペクトル強度分布10を測定する。例えば分光光度計8に被検査部位3の近傍に伸ばした光ファイバケーブルを設け、光ファイバケーブルを介してプラズマ7の発光を取り入れることができる。光ファイバケーブルを用いずに離れた位置からプラズマ7の発光を取り入れるため、分光光度計8に凹面鏡等の集光装置を設けることができる。集光装置を用いる場合は、雑音光の影響を受けないように、照明等のない暗部でコンクリート1にレーザ光6を照射してプラズマ7の発光を取り入れることが望ましい。例えば、トンネルのコンクリート壁等の検査では照明をおとして検査する。但し、背景光の雑音レベルと比較して十分な強度のプラズマ7の発光が得られるようにレーザ光6のパワーを調整することにより、太陽光や照明等がある場合でも信頼性の高い検査を行うことが期待できる。

【0015】スペクトル分析装置12は、分光光度計8に接続されており、分光光度計8で測定したスペクトル強度分布10を入力してコンクリート1の中性化、塩害の影響度、金属腐食の有無等を検査する。スペクトル分析装置12を例えばコンピュータ11とし、コンピュータ内蔵のプログラムによりスペクトル強度分布10を分析することができる。また、図示例のスペクトル分析装置12は記憶装置14を有し、後述するように、参照コンクリートにレーザ光6を照射したときに発生するプラズマ7の発光のスペクトル強度分布15等を記憶装置14に記憶している。

【0016】図1の検査装置20を参照して、本発明のコンクリート検査方法を説明する。レーザ装置5をコンクリート1の被検査部位3に向け、被検査部位3にレーザ光6を照射してプラズマ7を発生させる。また、分光光度計8の集光装置を被検査部位3に視準させ、プラズマ7の光を分光光度計8に取り入れる。分光光度計8によりプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を測定する。

【0017】本発明者は、他の手段により中性化の進行が確認できたコンクリート(以下、中性化コンクリートという。)と健全であることが確認できたコンクリート(以下、健全コンクリートという。)とを用い、レーザ光6の照射により発生するプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10をそれぞれ測定する実験を行った。本実験では出力3.0~3.8JのTEA-CO<sub>2</sub>レーザ(Transversely Excited Atmospheric pressure laser、大気圧横方向放電励起レーザ)光を用いた。実験結果を図2及び3に示す。図2は健全コンクリートのスペクトル強度分布10を示し、図3は中性化コンクリートのスペクトル強度分布

10を示す。図2と3のスペクトル強度分布10の比較から、中性化コンクリートでは健全コンクリートに比し炭素(C)成分のスペクトル強度が大きくなることが分かる。すなわち本実験から、コンクリートの前記スペクトル強度分布中の炭素成分の強度から、コンクリートの中性化を検査できることが確認できた。

【0018】炭素成分のスペクトル強度の大きさはレーザー光6の照射時間又はパルスレーザー光6の照射パルス数・パルス幅等によって変化するが、レーザー光6の照射時間又はパルス数等を定めることにより、炭素成分のスペクトル強度からコンクリートの中性化の進行度合いを検査することができる。また、図2及び3に示すように、コンクリートが中性化した場合でも例えばケイ素(Si)成分の強度は余り変化しないので、スペクトル強度分布10中のケイ素成分の強度と炭素成分の強度との相互比較(ケイ素成分強度による炭素成分強度の正規化)によりコンクリート1の中性化を検査することも可能である。

【0019】スペクトル分析装置12は、例えば中性化の進行に応じた炭素成分のスペクトル強度又はケイ素成分と炭素成分との強度比を記憶し、分光光度計8で計測したスペクトル強度分布10中の炭素成分の強度又はケイ素成分と炭素成分との強度比から、コンクリートの中性化又はその進行度合いを検査することができる。ケイ素成分と炭素成分との強度比によれば、レーザー光6の照射時間又はパルス数等が一定でない場合であっても、コンクリートの中性化又はその進行度合いを比較的正確に検査することが期待できる。

【0020】なお、炭素成分の強度ではなく、スペクトル強度分布中のイオウ成分の強度から、亜硫酸ガスによる中性化を検査することも期待できる。この場合は、中性化の進行に応じたイオウ成分のスペクトル強度又はケイ素成分とイオウ成分との強度比を記憶し、分光光度計8で計測したスペクトル強度分布10中のイオウ成分の強度又はケイ素成分とイオウ成分との強度比から、コンクリートの亜硫酸ガスによる中性化又はその進行度合いを検査する。炭素成分及びイオウ成分の両者の強度による中性化の検査も可能である。

【0021】また本発明者は、更なる実験により、コンクリートの前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分及び/又は塩素成分の強度からコンクリート1の塩害の影響度が検査できること、及び鉄成分の強度に基づき鉄筋コンクリート1中の鉄筋2の腐食が検査できることを確認できた。

【0022】従って、レーザー光6の照射時間又はパルス数等を定め、塩害の影響度に応じたナトリウム成分及び/又は塩素成分のスペクトル強度を記憶しておけば、スペクトル分析装置12によりコンクリート1における塩害の影響度を検査することができる。また、鉄筋の腐食度合いに応じた鉄成分のスペクトル強度を記憶しておけば、スペクトル分析装置12によりコンクリート1中の鉄

筋2の腐食が検査できる。更にスペクトル強度分布10中の他の特定成分、例えばケイ素成分のスペクトル強度とナトリウム成分、塩素成分又は鉄成分のスペクトル強度との相互比較により、コンクリート1における塩害の影響度又は鉄筋2の腐食度を検査することも可能である。

【0023】また、コンクリートの前記スペクトル強度分布中のナトリウム成分、カリウム成分その他の強アルカリ成分の強度から、コンクリートのアルカリ骨材反応の影響度(アルカリ骨材反応の起こり易さ)を検査することができる。アルカリ骨材反応とは、骨材に含まれる不定形シリカ鉱物等とセメントに含まれるナトリウム、カリウム等のアルカリが水の存在下で反応してアルカリケイ酸塩を生成し、これの膨張作用によりコンクリートにひび割れ、ポップアウト、組織崩壊等を生じさせる現象である。コンクリートがアルカリ分を多く含んでいるほどアルカリ骨材反応が起こり易い。従って、アルカリ骨材反応の影響度に応じた強アルカリ成分のスペクトル強度を記憶しておけば、スペクトル分析装置12によりコンクリート1のスペクトル強度分布10中の強アルカリ成分の強度から、該コンクリート1のアルカリ骨材反応の影響度を検査することができる。

【0024】更に、コンクリートの前記スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び/又は鉄成分の強度から、コンクリートの酸による劣化を検査することも期待できる。酸による劣化とは、下水や酸性河川水、温泉水、酸性雨等によりコンクリート中の水酸化カルシウム( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )が消費され、セメント硬化体が分解する現象である。従来、コンクリートの酸による劣化は表面から進行し、表面付近の劣化層と内側の健全コンクリートとの境界部に以下のようなマグネシウム、アルミニウム、鉄等の濃縮層が生成されることが報告されている(第117回鉄道技術研月例発表会要旨)。

(1) 下水等の強い酸の場合は鉄、アルミニウム、マグネシウムが濃縮する。

(2) 中程度の酸では鉄は濃縮せず、アルミニウム、マグネシウムが濃縮する。

(3) 酸性雨等の弱い酸の時にはマグネシウムだけが濃縮する。

(4) 炭酸化だけを生じた場合にはこれらの濃縮層は何れも生じない。

(5) 酸の影響を受けない場合もこれらの濃縮層は生じない。

【0025】従って、スペクトル強度分布中のマグネシウム成分、アルミニウム成分及び/又は鉄成分の強度から前記濃縮層を検出することにより、コンクリートの酸による劣化や酸の強さを検査することが期待できる。また、マグネシウム成分の強度から、単純に炭酸ガスだけの影響による劣化であるか、又は酸性雨等の影響も受けた劣化であるかを検査することができる。なお、濃縮層はコンクリート表面ではなく劣化層の内側にあるので、

酸による劣化の検査では、後述するように、レーザ光6の同一部位への連続的照射によりコンクリート1を穿孔しながらスペクトル強度分布を測定する方法が有効である。

【0026】図1に示すように、記憶装置14に参照コンクリートのスペクトル強度分布15を記憶しておけば、スペクトル分析装置12により被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10と参照コンクリートのスペクトル強度分布15との比較に基づき検査をすることができる。例えば記憶装置14に健全コンクリートのスペクトル強度分布15(図2参照)を記憶しておけば、被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10との差から被検査コンクリート1に特有の成分を見出すことも可能であり、炭素、イオウ、ナトリウム、塩素、鉄、強アルカリ等以外の成分に基づくコンクリート1の検査も期待できる。記憶手段14に中性化コンクリート、塩害コンクリート、アルカリ骨材反応による劣化コンクリート、酸による劣化コンクリート、腐食鉄筋コンクリート等の進行に応じた複数のスペクトル強度分布15を記憶しておき、それらのスペクトル強度分布15と被検査コンクリート1のスペクトル強度分布10との比較により、コンクリート1の中性化、塩害、アルカリ骨材反応、酸による劣化又は鉄筋2の腐食の進行度合いを検査することも可能である。

【0027】本発明は、レーザ光6の照射によりコンクリート1にプラズマ7を発生させ、プラズマ7の発光のスペクトル強度分布10によってコンクリート1の中性化、塩害の影響度、鉄筋腐食の程度等を非接触で検査することができるので、離れた位置からコンクリート1の健全性を検査できる。非接触検査であるため足場等を組む必要がなく、従来の方法に比し広いコンクリート面に対する検査作業の容易化、迅速化が図れる。

【0028】こうして本発明の目的である「大規模なコンクリート構造物をも簡単に短時間で検査できるコンクリート検査方法及び装置」の提供が達成される。

【0029】図1に示すように、上述したスペクトル分析装置12による検査結果は、例えばディスプレイ21やプリンタ22に出力してリアルタイムで参照することができる。また、例えばデータ管理手段16に検査結果を記録・保存することにより、コンクリート1の経時的な検査履歴等を作成してコンクリート1の維持・管理に利用できる。更に、本発明の検査装置20は移動させながらコンクリート1上の複数の被検査部位3を検査することができる。被検査部位3の位置測量システム等と組み合わせることにより、コンクリート検査の自動化への寄与も期待できる。

【0030】

【実施例】本発明では、被検査コンクリート1の表面上の複数の被検査部位3、又は表面からの深さが異なる複数の被検査部位3にレーザ光6を照射してプラズマ7を発生させ、各部位3におけるプラズマ7の発光のスペク

トル強度分布10を測定することによりコンクリート1を検査することも可能である。例えばコンクリートの中性化は、先ず空気と接する表面に起こり、時間の経過と共に中性化領域が内部に進行することが知られている。例えばコンクリート1の表面を所定厚さで削り取りながらレーザ光6を照射し、各削り取り段階でのプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を測定して中性化を検査することにより、コンクリートの中性化深さを検査することができる。同様に、コンクリート1の塩害の影響度やアルカリ骨材反応の影響度、酸による腐食、鉄筋の腐食等についても、深さ方向での検査が可能である。

【0031】また本発明者は、レーザ光6の同一部位への連続的照射によりコンクリート1の穿孔が可能であり、コンクリートをレーザ光6で穿孔しながら同時にコンクリート1の深さ方向の異なる部位の検査が可能であることを見出した。すなわち本発明では、レーザ光6の照射によりコンクリート1の表面近傍の物質が溶融・気化するので、照射部位に新たな表面が形成される。その新たな表面にレーザ光6を連続的に照射することにより、新たな表面の物質を溶解・気化させ、照射部位にコンクリート1の深さ方向の孔を穿つことができる。また、この穿孔過程におけるプラズマ7の発光のスペクトル強度分布10を連続的に測定することができる。例えば、レーザ光6をコンクリート1の同一部位へ連続的に照射しながら、コンクリート1の中性化深さやアルカリ骨材反応の深さ、酸による劣化の深さ等を検査することが期待できる。また、パルスレーザ光6を数回照射することでコンクリート表面の汚れを除去できるので、検査の精度を高めるという効果も期待できる。

【0032】図1の実施例では、レーザ光6の照射向きを制御する照射向き制御装置17、及びレーザ光6の照射向きに追従して分光光度計8又はその集光装置の視準向きを制御する視準向き制御装置18を設け、レーザ光6の照射向きと分光光度計8又は集光装置の視準向きとを変化させることにより、コンクリート1上の複数部位の効率的な検査を可能としている。本発明は、レーザ光6の照射によりプラズマ7を発生させることができれば、コンクリート1に対するレーザ光6の入射角が変化しても問題はない。

【0033】また図4は、図1に示す検査装置20を台車等の移動体30に搭載し、移動体30が、道路37に沿って延びるコンクリート1の構造物を移動しながら検査する実施例を示す。同図は、トンネル36のコンクリート壁を検査する場合を示す。この場合、照射向き制御装置17及び視準向き制御装置18により、移動体30の進行方向と交差する平面31上でレーザ光6の照射向きを変化させると共に、照射向きに追従して分光光度計8又は集光装置の視準向きを変化させる。この制御により、平面31とコンクリート表面との交線32上の複数の被検査部位3iを効率的に検査することができる。

【0034】移動体30の進行に応じて、上述したレーザー光6の照射向き制御と分光光度計8又は集光装置の視準向き制御とを繰り返す、進行方向に隔てた複数の交線32上で検査を繰り返すことにより、通路37に沿って延びるコンクリート1の全域を効率よく検査することができる。図4の実施例によれば、トンネルコンクリート壁の維持管理に必要な検査作業を夜間等の限られた時間内に短時間で行うことが可能であり、従来方法に比し検査作業の大幅な簡易化、省力化、迅速化が図れる。

【0035】以上、コンクリート1の健全性の検査に対する本発明の適用について説明したが、図1の検査装置20を健全性検査以外の他の用途、例えばコンクリート1の放射化の検査に適用することも期待できる。例えば原子力発電所の廃炉措置（デコミッションング）では、放射化の度合いによってコンクリートや配管類の処理費用が大きく異なるため、解体破砕したコンクリートがどの程度放射化されているかを測定することが重要となる。従来は、コンクリートの放射化状況をシュミレーション等によって事前に推定するか、又は現場からコンクリートコア等を採取して別途ガイガーカウンター等の計測装置で放射化状況を確認し、その放射化状況に応じて定まる深さまでを表面から一括りにして解体している。しかしこの方法では、放射化の測定に手間がかかるだけでなく、実際の汚染度に拘わらず全てのコンクリート壁面に対し同じ深さの解体処理を行なわねばならず、放射化の程度に応じて効率的な解体作業を行うことが難しい問題がある。

【0036】図5は、原子力発電所の廃炉措置に本発明を適用した実施例を示す。同図の検査装置20は、コンクリート1解体用の遠隔操作ロボット34に取り付けられ、コンクリート1のレーザー光照射時のプラズマ発光のスペクトル強度分布10中における放射性同位体成分の強度と非放射性同位体成分の強度とを相互比較することにより、コンクリート1の放射化を検査するものである。コンクリート中に放射性同位体と非放射性同位体とを含む元素がある場合は、コンクリートの放射化に応じて放射性同位体と非放射性同位体との割合が変化すると考えられる。例えば放射化の進行に応じた放射性同位体と非放射性同位体とのスペクトル強度比を記憶しておけば、図1のコンクリート1のスペクトル強度分布10に基づき、スペクトル分析装置12によりコンクリート1の放射化を検査することが期待できる。

【0037】図5の実施例では、ロボット34のアーム35でコンクリート1の表面を所定厚さで削り取りながらレーザー光6を照射し、各削り取り段階でのプラズマ発光のスペクトル強度分布10を測定して放射化を検査する。この実施例によれば、放射化が所定レベル以下になるまでコンクリート1の解体を行い、放射化の程度に応じてコンクリートの解体作業を進めることができるので、実情

に適合した効率的な解体処理が期待できる。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のコンクリート検査方法及び装置は、コンクリートにレーザー光を照射してアブレーションによるプラズマを発生させ、プラズマの発光のスペクトル強度分布によりコンクリートを検査するので、次の顕著な効果を奏する。

【0039】(イ) コンクリートの健全性を非接触で検査できるので、足場等を設置する必要がなく、従来方法に比し検査作業の大幅な省力化、効率化が図れる。

(ロ) 単独のスペクトル強度分布からコンクリートの中性化、塩害の影響度、アルカリ骨材反応の影響度、酸による劣化、鉄筋の腐食度等を検査することができ、検査部位に対し複数回の調査を行う必要がない。

(ハ) レーザ装置の照射向きを変えながらコンクリート壁の複数部位を検査できるので、広いコンクリート面等をも簡単に短時間で検査することができる。

(ニ) 移動しながら検査することができるので、運用中のトンネル等のコンクリート壁も簡単に短時間で検査することができる。

(ホ) コンクリートの放射化の検査も期待でき、原子力発電所等の効率的な解体処理への適用が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】は、本発明装置の一実施例のブロック図である。

【図2】は、健全コンクリートのプラズマ発光のスペクトル強度分布を示すグラフの一例である。

【図3】は、中性化コンクリートのプラズマ発光のスペクトル強度分布を示すグラフの一例である。

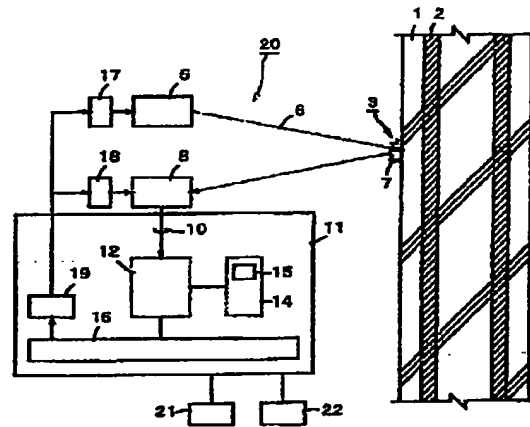
【図4】は、本発明の他の実施例の説明図である。

【図5】は、本発明の更に他の実施例の説明図である。

【符号の説明】

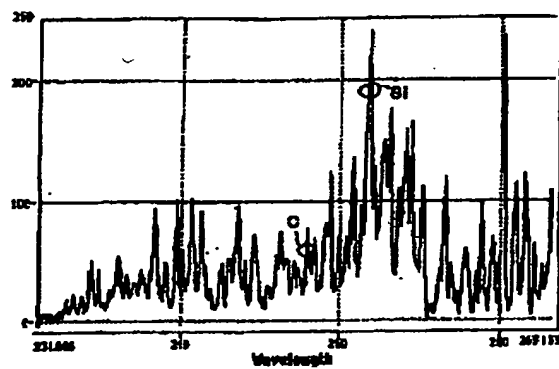
- |                        |                   |
|------------------------|-------------------|
| 1…被検査コンクリート            | 2…鉄筋              |
| 3、3i…被検査部位             | 4…腐食部位            |
| 5…レーザー装置               | 6…レーザー光（パルスレーザー光） |
| 7…プラズマ                 | 8…分光光度計           |
| 10…被検査コンクリートのスペクトル強度分布 |                   |
| 11…コンピュータ              | 12…スペクトル分析装置      |
| 14…記憶装置                |                   |
| 15…参照コンクリートのスペクトル強度分布  |                   |
| 16…データ管理手段             | 17…照射向き制御装置       |
| 18…視準向き制御装置            | 19…姿勢制御装置         |
| 20…コンクリート検査装置          |                   |
| 21…ディスプレイ              | 22…プリンタ           |
| 30…移動体                 | 31…平面             |
| 32…交線                  | 34…遠隔操作ロボット       |
| 35…アーム                 | 36…トンネル           |
| 37…通路                  |                   |

【図1】



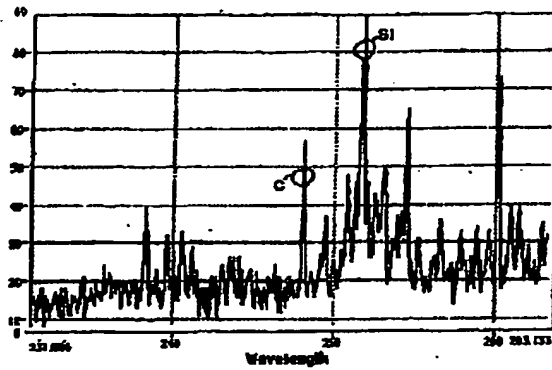
- 1—被検査コンクリート 2—缺陷 3—被検査部位  
 5—レーザ装置 6—(パルス)レーザ光 7—プラズマ  
 8—分光光度計 10—コンクリートのスペクトル強度分布  
 11—コンピュータ 12—スペクトル分析装置 14—記憶装置  
 15—参照コンクリートのスペクトル強度分布 16—データ管理手段  
 17—照射向き制御装置 18—検出向き制御装置 19—姿勢制御装置  
 20—コンクリート検査装置 21—ディスプレイ 22—プリンタ

【図2】

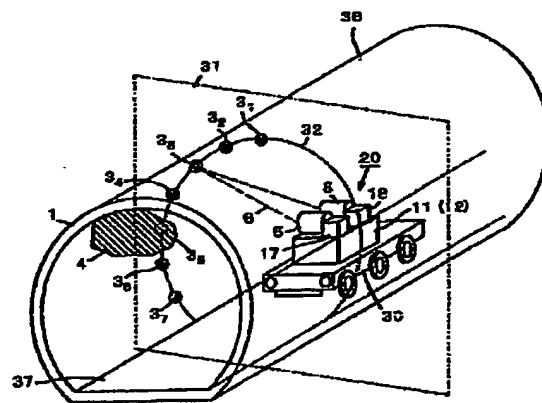




【図3】

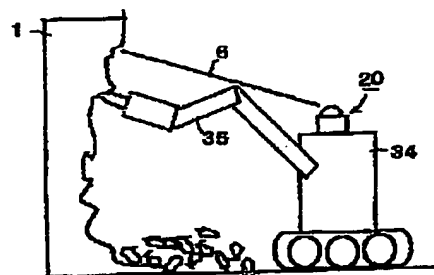


【図4】



- |             |               |             |
|-------------|---------------|-------------|
| 1—被検査コンクリート | 31—被検査部位      | 4—露出部位      |
| 5—レーザー装置    | 6—(パルス)レーザー光  | 8—分光光度計     |
| 11—コンピュータ   | 12—スペクトル分析装置  | 17—照射向き制御装置 |
| 13—複方向き制御装置 | 14—コンクリート検査装置 | 15—移動体      |
| 16—平面       | 17—交差         | 18—トンネル     |
| 19—道路       |               |             |

【図5】



1—コンクリート 6—(パルス) レーザ光 11—コンクリート検査装置  
11—遠隔操作ロボット 31—アーム

## フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>7</sup>  
G 01 N 33/38

識別番号

F I  
G 01 N 33/38

テマコード(参考)

Fターム(参考) 2D055 LA13 LA16

2G043 AA01 AA03 BA02 BA03 BA06  
BA07 BA11 CA05 DA01 DA09  
EA10 FA01 FA05 GA08 GB21  
JA01 JA05 KA08 KA09 LA01  
MA01 NA01

2G050 AA02 BA02 BA03 BA05 BA06  
CA01 DA01 EA02 EB07

2G055 AA13 BA12 CA07 EA07 EA08  
FA02 FA04

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**